

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ КОНТАКТНОЙ
ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ**

Макалада чекит түрүндөгү ширетүүчү электроддорду арзан элементтерден куралган эритмени төмөнкү температурадагы термомеханикалык иштөө маселеси каралган.

В статье рассмотрены вопросы использования сплавов с недорогими легирующими элементами в качестве материалов для электродов точечной сварки и применения к ним низкотемпературной термомеханической обработки.

This article is considered the matter of using alloys with inexpensive elements and using of low temperature thermomechanical adaptation in a quality of materials for electrodes of dot welding.

При точечной сварке две или несколько заготовок сжимаются электродами машин до плотного контакта и соединяемые заготовки свариваются по поверхности их соприкосновения в отдельных точках. При прохождении сварочного тока наиболее интенсивно нагревается металл в месте контакта, так как здесь больше электрическое сопротивление и худшие условия отвода тепла. Нагрев продолжается до расплавления металла в центральной, наиболее нагретой зоне.

Сварная точка считается качественной, если образуется литое ядро чечевицеобразной формы определенного размера (диаметр и глубина проплавления). Вокруг литого ядра точки возникает зона металла, в пределах которой произошла сварка в пластическом состоянии. Эта зона удерживает литой металл ядра от растекания. Усилие на электродах должно быть приложено до включения сварочного тока и снято после его включения.

Стойкость электродов, от которой в значительной мере зависят производительность сварки и качество сварных соединений, определяется материалом электродов, их обработкой (термической, термомеханической и др.), конструкцией, условиями охлаждения, режимами сварки и чистотой поверхности свариваемых заготовок.

Материал электродов должен иметь высокие тепло- и электропроводность, температуру разупрочнения (температура начала рекристаллизации), а также достаточную прочность и твердость. Химический состав и технические характеристики наиболее применяемых материалов для изготовления электродов контактных машин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики материалов, применяемых для изготовления электродов

Материал	Содержание легирующих элементов, %	Отношение электропроводности материала к электропроводности меди, в %	Твердость, НВ	Температура разупрочнения, °С
1	2	3	4	5
Кадмиевая бронза БрКд1	0,9 ÷ 1,2 Cd	85-95	95-115	350
Хромовая бронза БрХ0,8	0,7 ÷ 0,9 Cr	82-85	120-140	400
Медь с присадкой серебра МС-1	0,07÷0,12 Ag	97-99	95-100	360

Никелебериллиетитановая бронза БрНБТ	1,4 ÷ 1,6 Ni 0,2 ÷ 0,4 Be 0,05 ÷ 0,15 Ti	50-55	190-240	510
Никелекремниевая бронза БрНК	1,2÷2,3 Ni 0,3÷0,9 Si	40	180-200	450
Хромоциркониевая бронза БрХЦ	0,3÷0,5 Cr 0,2÷0,35 Zr	80-85	135-145	500

Сплавы, приведенные в табл.1, содержат в основном дорогие легирующие элементы, что существенно удорожает материал электродов. Кроме того, для повышения твердости и прочности используемых сплавов применяли классическую схему термообработки: закалка + старение.

В настоящее время проводятся исследования по выбору материалов с распространенными и недорогими легирующими элементами, а также использование схем термомеханической обработки для дополнительного повышения прочностных свойств материалов, что существенно повышает стойкость электродов.

Как известно, во время работы контактная поверхность электрода (соприкасающаяся с материалом заготовки) со временем увеличивается, и по достижении «критического диаметра» необходимо проводить переточку электрода (уменьшение диаметра контактной поверхности). Поэтому одним из основных критериев по оценке стойкости электрода является количество сваренных точек до первой переточки.

При использовании схемы низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО): закалка + холодная деформация + старение для сплавов, включающей фазовое старение, существенно повышаются прочностные свойства за счет увеличения плотности выделения упрочняющих фаз.

В этой работе проводится анализ проведенных исследований по выбору материала электрода с недорогими легирующими элементами и режимов низкотемпературной термомеханической обработки. Исследования /1/ концентрационной зависимости электропроводности и микротвердости сплавов систем Cu – Ni – P и Cu – Fe – P в области существования тройного твердого раствора на основе меди обнаружили аномалии на кривых указанных свойств, что связывается с проявлением химического взаимодействия между легирующими компонентами. В связи с этим отмечена перспективность сплавов, расположенных по составу на соответствующих лучевых разрезах Cu – Ni₃P и Cu – Fe₂P для использования их в качестве основы проводниковых сплавов для изготовления электродов /2/.

Влияние церия на свойства сплавов Cu – Ni – P и Cu – Fe – P

Сплав	Состав (по шихте), %	Температура испытания, °С															
		20				200		300		400		500		600		700	
		* χ , %	НВ	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %	σ_B МПа	δ , %
1	Cu-1,35 Ni-0,28P	60	180	550	16	420	12	330	7	310	5	305	2	160	7	90	8
2	Cu-1,35 Ni-0,28P- 0,05 Ce	66,5	196	560	20,5	430	13	340	8	325	8,5	315	5,5	166	13	95	14
3	Cu-1,10 Fe-0,4P	65,5	154	450	7,5	-	-	325	4	275	3,5	250	1	145	0,7	50	9
4	Cu-1,10 Fe-0,4P- 0,05 Ce	69	150	450	9,5	-	-	295	7	210	7,5	150	7,5	90	9	50	14

* Электропроводность в процентах от электропроводности меди

Для повышения таких свойств, как электропроводность, прочность, пластичность, окисляемость, поведение при точечной сварке опробованы малые добавки бора, церия, циркония, хрома и ниобия. Наиболее перспективным элементом оказался церий.

Предполагается, что церий, образуя ряд окислов CeO_2 , CeO_3 с температурой плавления ~ 2800 °С, действует как раскислитель. Тогда вводимый фосфор будет затрачиваться на образование фосфидов Ni_3P , Fe_2P , Fe_3P , обеспечивающих возможность упрочняющей термической обработки сплавов. Рафинирующее действие церия из-за обеднения медного раствора повысит электропроводность и пластичность сплавов в интервале их рабочих температур. Возможно образование тугоплавкого фосфида церия, не переходящего в раствор при нагреве сплава под закалку, что несколько понизит эффект упрочняющей термической обработки. Сплавы $\text{Cu} - \text{Ni} - \text{P}$ и $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P}$ с добавками церия, защищенные на разрезах $\text{Cu} - \text{Ni}_3\text{P}$ и $\text{Cu} - \text{Fe}_2\text{P}$ заводских отливок, были обработаны по схеме НТМО. Оптимальную температуру старения определяли по зависимости твердости и электропроводности холоднокованных прутков от продолжительности старения при разных температурах.

В результате сплавы $\text{Cu} - \text{Ni} - \text{P}$ были обработаны по схеме: закалка горячекатаных прутков с 950 ± 20 °С, выдержка 40 мин, ковка в холодную с 40%-ным обжатием, старение 450 ± 10 °С, 3 ч. Для сплавов $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P}$ обжатие при ковке в холодную составило 60 %, выдержка при температуре старения 4 ч.

В табл. 2 приведены свойства сплавов, обработанных по указанным режимам НТМО.

Малые добавки церия, не влияя практически на прочностные свойства, повышают, вследствие своего рафинирующего действия, электропроводность (на 8-15 %) и пластичность сплавов $\text{Cu} - \text{Ni} - \text{P}$ и $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P}$.

Это является существенным, так как чем более теплопроводен (электропроводен) материал электрода, тем меньше перепад температур и неравномерность распределения напряжений по сечению электрода, тем меньше вероятность образования трещин на его поверхности.

Окисляемость определяли на сплавах $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P}$, обработанных по вышеуказанному режиму НТМО, с содержанием церия на верхнем и нижнем пределах на образцах диаметром 10 мм, толщиной 5 мм, с обработанной поверхностью до 7-8 класса чистоты. Окисляемость определяли по потере веса на единицу площади поверхности образцов ($\text{мг}/\text{см}^2$) по ГОСТ 6130-71. Нагрев проводили в муфельной печи при 600 °С в течение 2; 4; 6 и 10 ч.

Наибольшие весовые потери – $25 \text{ мг}/\text{см}^2$ после 10-часовой выдержки дал исходный сплав $\text{Cu} - 1,2 \% \text{ Fe} - 0,4 \% \text{ P}$ (рис. 1).

Добавки церия (0,03 и 0,1 %) уменьшают окисляемость сплава до 20 и до 14 $\text{ мг}/\text{см}^2$ соответственно. Повышенная стойкость против окисления сплавов, содержащих церий, должна положительно сказаться на уменьшении потемнения изделий в месте сварки, улучшении поверхности сварных точек и т.п. Прутки сплавов прошли сравнительные испытания при оптимальных режимах в качестве электродного материала при точечной сварке нержавеющей стали X18H10T толщиной 1+1 мм. Стойкость сплавов оценивали по количеству свариваемых точек в сравнении с серийно выпускаемыми электродными сплавами. После сварки 10000 точек изменение исходного диаметра (6 мм) контактной поверхности электрода (принятый критерий оценки стойкости электродов) составило для сплавов Мэллори 100: $\text{Cu} + 2,5 \% \text{ Co} + 0,5 \% \text{ Be} - 0,60 \text{ мм}$; $\text{Cu} + 1,35 \% \text{ Ni} + 0,28 \% \text{ P} + 0,05 \% \text{ Ce} - 0,50 \text{ мм}$; $\text{Cu} + 1,1 \% \text{ Fe} + 0,4 \% \text{ P} + 0,05 \% \text{ Ce} - 0,55 /3/$.

Предлагаемые сплавы систем $\text{Cu} - \text{Ni} - \text{P} - \text{Ce}$ и $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P} - \text{Ce}$ не содержат дорогих, дефицитных (Co и Be) и токсичных (Be) легирующих добавок.

Далее рассмотрим влияние иттрия на электропроводность и механические свойства сплава $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{P}$ с целью использования его в качестве электродов точечной сварки углеродистых сталей.

$\Delta P/s, \text{ мг/см}^2$

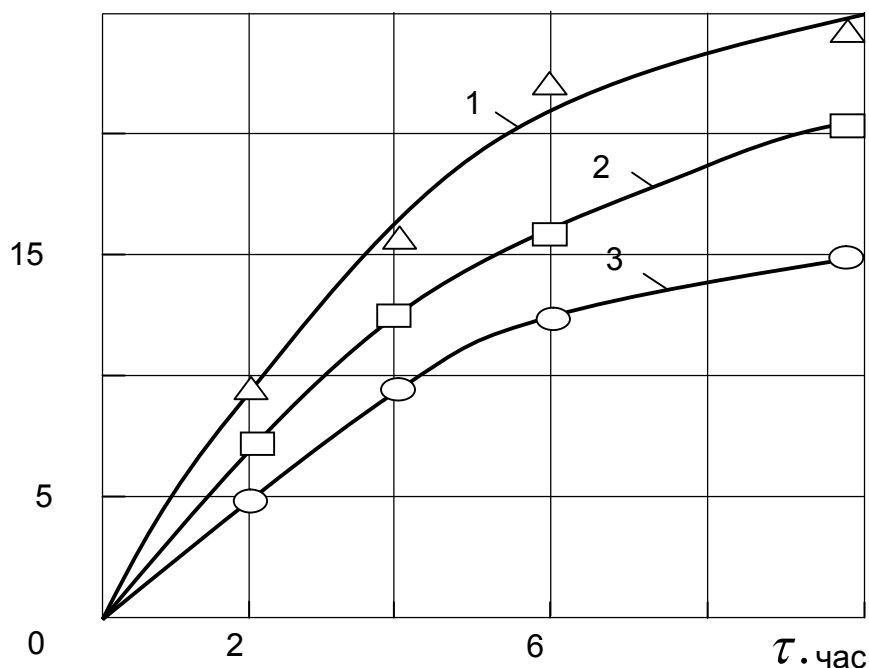


Рис.1. Влияние церия на окисляемость сплавов Cu – Fe – P при 600 °C. Cu+1,2 % Fe+0,4 % P (1) Cu+1,2 % Fe+0,4 % P+0,03 % Ce (2) Cu+1,2 % Fe+0,4 % P+0,1 % Ce (3)

За основу взят сплав Cu – Fe – P, расположенный по составу на лучевом разрезе Cu – Fe₂P. Малые добавки иттрия вводили, предполагая его раскисляющее воздействие, очищение им границ зерен, а также образование иттриевых фаз, дополнительно упрочняющих сплав Cu – Fe – P.

Образцы для исследования получали по следующей технологической схеме: гомогенизация слитка диаметром 40 мм при температуре 900±20 °C, 2 ч. горячая деформация с обжатием 50 %, закалка в воде с 970±10 °C, выдержка 1 ч. Закаленные прутки перед старением ковали со степенью деформации 50 %. Режим старения, дающий сочетание наибольшей электропроводности с высокой твердостью, устанавливали при построении графиков зависимости электропроводности и твердости от температуры (300, 400, 450, 500 и 600 °C, выдержка 1 ч) и времени старения (0,5, 1, 2, 3, 4 и 5 ч при 400 и 450 °C) холоднодеформированных прутков (НТМО).

В табл. 3 представлены механические свойства сплавов при разных температурах. Из табл. 3 следует, что иттрий, возможно за счет образования пока неизвестной нам иттриевой фазы Fe_mY_n, повышает временное сопротивление в интервале температур 20–400 °C, что является существенным для электродных материалов. Известно [4], что сопротивление образованию трещин выше у более пластичных материалов, несмотря на их несколько пониженные характеристики прочности. Провал же пластичности, присущий медным сплавам в интервале температур 300–700 °C, в случае легирования сплава Cu – Fe – P иттрием отсутствует. По мере повышения температуры испытания пластичность сплава с иттрием монотонно повышается и весьма значительно превышает пластичность сплава Cu – Fe – P, что связано с очищением иттрием границ зерен.

Механические свойства сплавов при разных температурах

Сплав, %	Температура испытания, °С													
	20				300		400		500		600		700	
	НВ	%, %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %
Cu-1,30 Fe-0,4 P	137	80	450	7,5	324	4	275	3,5	250	1,0	145	0,7	50	9
Cu-1,33 Fe-0,42 P-0,32 Y	175	87	520	13	380	16	280	25	170	36	90	51	50	64

Исследование окисляемости проводили на сплавах Cu – Fe – P с иттрием, аналогично как при влиянии церия, обработанных по вышеуказанному режиму НТМО. Наибольшие потери массы (26 мг/см^2 после десятичасовой выдержки) дал исходный сплав Cu – 1,3 % Fe – 0,40 % P (рис.2).

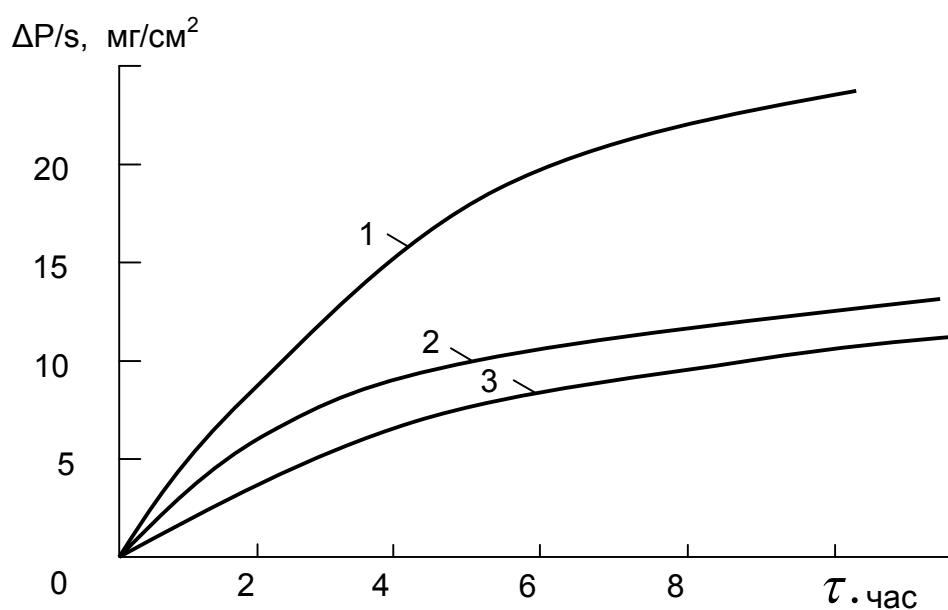


Рис.2. Влияние иттрия на окисляемость сплавов Cu+1,30 % Fe+0,40 % P (1) Cu+1,30 % Fe+0,40 % P+0,05 % Y (2) Cu+1,33 % Fe+0,42 % P+0,32 % Y (3) при 600 °С

Добавка иттрия уменьшает окисляемость этого сплава, снижая потери массы за это же время испытания до 12 мг/см^2 при содержании 0,05 % Y и до 10 мг/см^2 – при содержании 0,32 % Y. Влияние иттрия на стойкость против окисления, возможно, объясняется пассивирующим действием этого элемента – улучшением им структуры поверхностной окисной пленки. Повышенная жаростойкость должна сказаться на уменьшении потемнения изделий в местах сварки и уменьшении простоя сварочного оборудования, необходимого для зачистки электродов.

Сплавы Cu – Fe – P и Cu – Fe – P – Y, приготовленные в заводских условиях и обработанные по вышеразработанному режиму НТМО, были опробованы при сварке стали 08 кп толщиной 1,2 + 1,2 мм, при темпе сварки 80 св/мин. Испытание проводили до двух переточек рабочей части электродов. Опытные сплавы сравнивали с применяемой в

настоящее время хромовой бронзой БрХ0,7. Количество сварных точек сплава Cu – Fe – P – Y до первой переточки – 24500, сплава Cu – Fe – P без иттрия – 4000, БрХ0,7 – 2500 /5/

Сплав системы Cu – Fe – P, расположенный по составу на квазибинарном сечении Cu – Fe²P, с добавками 0,05 – 0,5 % Y, обработанный по режиму НТМО и достигающий твердости НВ 120-157 и электропроводности 74-87 % от электропроводности меди, может быть использован в качестве электродов сварочных машин для сварки углеродистых сталей. Сплав отличается простой технологией производства (открытая плавка), высокой электропроводностью на различных переделах, возможностью использования загрязненного иттрия и иттриевых отходов редкометаллической промышленности. Сплав не содержит дорогих и токсичных элементов.

Список литературы

1. Глазов В.М., Степанова М.В. Сплавы цветных металлов. - М.: Наука, 1972. – С.110.
2. Степанова М.В., Глазов В.М. и др. //Изв. вузов. Цветная металлургия. - М., 1974. - № 1. – С. 134-136.
3. Степанова М.В., Федоров В.Н., Бакиров Ж.Т. //Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1979. - № 4. – С. 77-79
4. Слиозберг С.К., Чулошников П.Л. Электроды для контактной сварки. - Л.: Машиностроение, 1988.
5. Степанова М.В., Бейлин В.М., Бакиров Ж.Т. //Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1986. - № 5. – С. 127-129.